

**Tagungsbeitrag zu:**

Jahrestagung der DBG,  
Sitzung der Kommission II

**Titel der Tagung:**

Horizonte des Bodens

**Veranstalter:**

DBG

**Termin und Ort der Tagung:**

2. – 7. September 2017, Göttingen

**Berichte der DBG** (nicht begutachtete online-Publikation), <http://www.dbges.de>

## **Nitratbelastung in 5 Wasserschutzgebieten: Ableitung von Critical Loads und Handlungsoptionen mit statistischer Analyse von Bewirtschaftung und Naturraum**

Wolf-Anno Bischoff<sup>1</sup>, Andreas Schwarz<sup>1</sup>,  
Christoph Puschner<sup>2</sup>

**Schlüsselworte**

Nitrat, Grundwasser, N-Bilanz, Critical Loads, Landwirtschaft

**Einführung und Motivation:**

Die Trinkwasserbrunnen des Zweckverbands Wasserversorgung Offenbach (ZVO) haben in einigen Gebieten erhöhte ( $> 25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) oder zu hohe ( $> 50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) Nitratwerte im Rohwasser. Die Einzugsgebiete der meisten belasteten Brunnen haben einen hohen Anteil an landwirtschaftlicher Nutzung. In Gewinnungsanlagen mit überwiegend forstlichem Einzugsgebiet wurden nur an wenigen Brunnen erhöhte Nitratkonzentrationen gefunden. Um die Situation im Einzugsbereich der Landwirtschaftsflächen zu verbessern, gibt es seit 1998 eine Kooperation zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft

**Fragestellungen**

Es sollte untersucht werden, ob die bisherigen Maßnahmen der Kooperation positive Auswirkungen auf die Nitrat-Belastung der Brunnen gehabt haben, und ob diese ausreichend sind, in Zukunft an allen Brunnen

zumindest die gesetzlich gebotene Nitrat-Konzentration von  $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , im Idealfall auch den guten ökologischen Zustand von  $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  dauerhaft und nachhaltig zu unterschreiten.

Dazu wurden die naturräumlichen Voraussetzungen und die langjährige landwirtschaftliche Praxis in den Wasserschutzgebieten der Kooperation untersucht.

**Material und Methoden**

Zur Bewertung des Naturraums wurden die einschlägigen geologischen, bodenkundlichen und hydrologischen Standortskarten des HLNUG (Hessenviwer, 2016), Bohrprofile der Brunnen, Grundwassermessstellen und Bohrprofile des HLNUG ab 5 m Bohrtiefe, die Witterungs- und die klimatischen Daten der DWD-Wetterstation Schlierbach ausgewertet. Zur hydrogeologischen Situation wurden neben den Bohrprofilen die Grundwassergleichenpläne des Wasserversorgers sowie die chemischen Analysendaten einiger Brunnen von besonderem Interesse verwendet.

Die naturräumlichen Daten wurden qualitativ in ihrer Bedeutung für die Grundwasserqualität sowie zur Erstellung einer lokalen Massenbilanz sowohl für das Gesamtgebiet als auch für einige Teileinzugsgebiete ausgewertet.

Zur Bewertung der Landwirtschaft wurde eine Flächenbewirtschaftungsdatenbank ( $> 12.000$  Datensätze) und eine Schlagbilanzdatenbank ( $> 3.300$  Datensätze) der Nitrat-AG, einer Kooperation aus Landwirtschaft und Wasserwirtschaft, ausgewertet. Beide Datenbanken enthalten anonymisierte Informationen zur Nutzung der Flächen durch die kooperierenden Landwirte: Vorkultur, Hauptfrucht, Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung, Lage der Fläche, Bewirtschafternummer und die Herbst- und Frühjahrswerte des verfügbaren mineralischen Stickstoffs ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) in 0 – 90 cm Tiefe ( $\text{N}_{\text{min}}$ ). Dabei ist Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) die dominante Spezies, und Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) spielt nur eine untergeordnete Rolle. Die Schlagbilanzen beinhalten darüber hinaus Art und Menge des zugeführten Düngers und die aus den Erträgen geschätzte Abfuhr von Stickstoff mit dem Erntegut.

<sup>1</sup> Gutachterbüro TerrAquat,  
Schellingstr. 43, 72622 Nürtingen,  
e-mail: [w.bischoff@terraquat.com](mailto:w.bischoff@terraquat.com)

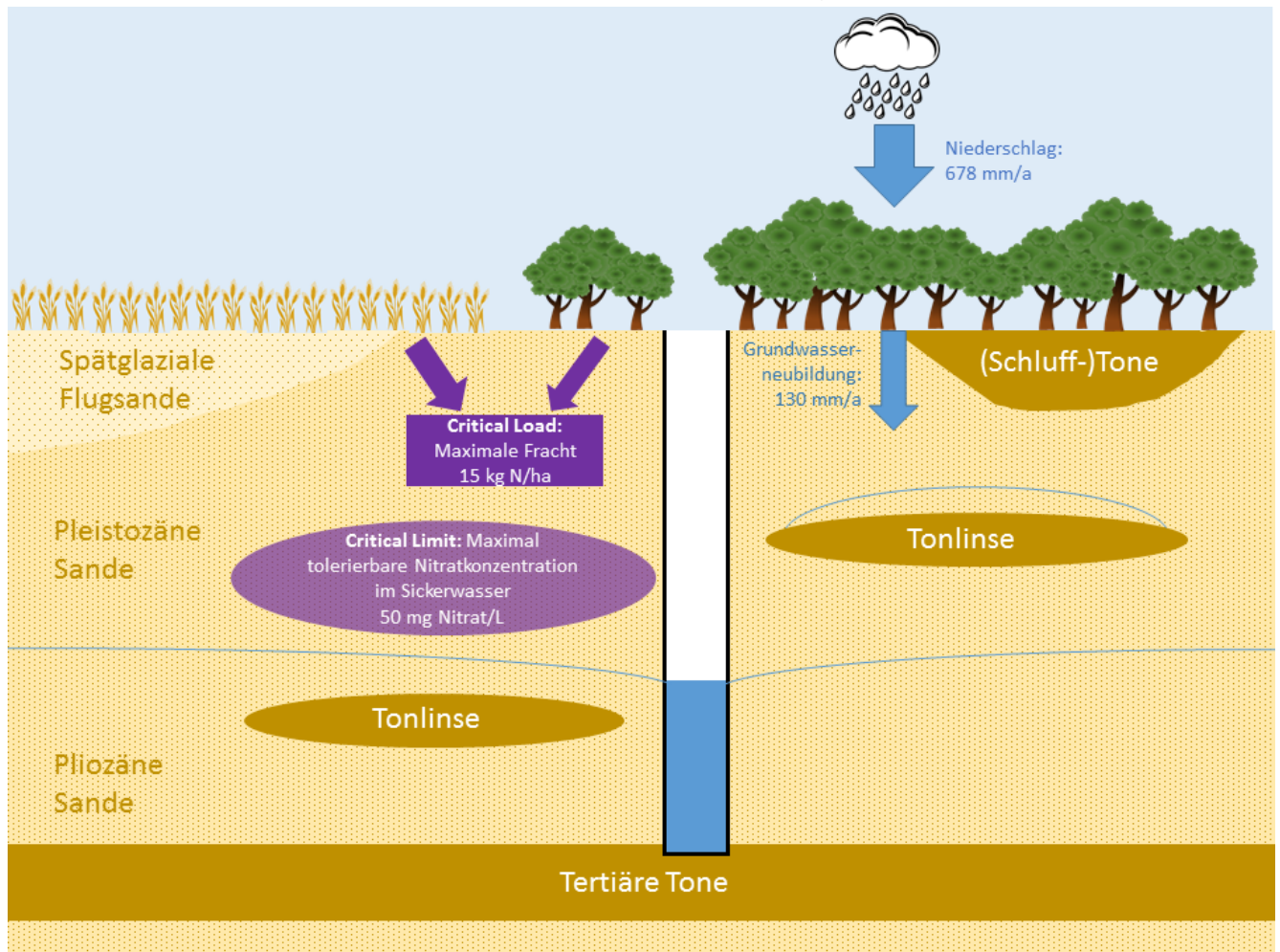
<sup>2</sup> Zweckverband Wasserversorgung Stadt und Kreis Offenbach,  
Am Wasserwerk 1, 63110 Rodgau

Die landwirtschaftlichen Daten wurden intensiv in Hinblick auf die Bedeutung für die Nitrat-Belastung des Sickerwassers und damit der Grundwasserneubildung ausgewertet. Da die Daten witterungs-, bewirtschaftungs- und kulturbedingt stark variieren und sich die Effekte bei konventioneller statistischer Analyse überlagern oder die Datensätze nur disaggregiert betrachtet wer-

arbeiten, können dabei sowohl analysiert als auch herausgefiltert werden.

## Ergebnisse und Diskussion

Der Naturraum, in dem das Trinkwasser des ZWO gewonnen wird, ist in verschiedener Hinsicht ein ungünstiger Filter und Puffer für Belastungen aus der Umwelt (vereinfacht in **Abb. 1** dargestellt).



den könnten, wurden zusätzlich zu klassischen Regressions- und Varianzanalysen verschiedene höhere nicht-lineare Modelle mit Zufallsvariablen benutzt. Diese schätzen aus großen Datensätzen wie dem vorliegenden die überlagernden Effekte simultan und bilden dann für die in einer bestimmten Analyse „unerwünschten“ Effekte eine statistische Funktion, die ähnlich wie in der Akustik das Daten-„Rauschen“ teilweise herausfiltert. Der Vorteil ist, dass damit z.B. saisonübergreifende Aussagen über den Vergleich von Kulturen oder Landwirten oder der Art des Düngers gemacht werden können. Sondereffekte wie die wechselnde Witterung oder der Unterschied, wie verschiedene Landwirte die gleiche Kultur düngen und be-

*Abbildung 1: Vereinfachter Überblick über die naturräumliche Situation in den Wasserschutzgebieten (WSG)*

Die Grundwasserneubildung ist aufgrund der klimatischen Verhältnisse mit  $130 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  bundesweit unterdurchschnittlich. Sande und lehmige Sande dominieren die landwirtschaftlich genutzten Böden mit einem Flächenanteil von über 50 %. Schluffige oder lehmige Böden mit hohem Filtervermögen sind nur auf ca. 6 % der Fläche vertreten. Dadurch bewirkt bereits ein Eintrag von  $< 15 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  bezogen auf die Gesamtfläche (Wald und Acker) ein Überschreiten des Trinkwassergrenzwerts von  $50 \text{ mg Nitrat} \cdot \text{L}^{-1}$  in der Grundwasserneubildung. Denitrifikation senkt in einigen Bereichen die Nitrat-

Konzentration. Diese befinden sich jedoch mit wenigen Ausnahmen unter ohnehin geringer belasteten Waldflächen. Für die besonders belasteten Förderbrunnen gilt, dass ihr (näheres) Einzugsgebiet überwiegend landwirtschaftlich genutzt wird. Vorhandene tonige Deckschichten sind nur unter Teilen der Wälder flächenhaft ausgeprägt. Im landwirtschaftlichen Bereich sind sie in aller Regel nicht durchgängig und stellen somit auch keine Barriere für den Eintrag von Schadstoffen ins Grundwasser dar.

Der globale mittlere N-Überschuss aus den Schlagbilanzen, die im Zeitraum 2005 – 2014 erhoben wurden, betrug  $30,5 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  ( $n = 2545$ ).

Der globale mittlere Herbst-  $N_{\min}$  -Wert aus den Schlagbilanzen beträgt  $54 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  ( $n = 2545$ ). Aufgrund des außergewöhnlich großen Datensatzes und des langen Beobachtungszeitraums sowie der langjährig in etwa gleichbleibenden Kultur- und Bewirtschaftungsstruktur kann vorsichtig geschlossen werden, dass der N-Überschuss sich im erhöhten mittleren 10-Jahres-  $N_{\min}$  -Wert wiederfindet. Damit lässt sich näherungsweise bestimmen, wie hoch der  $N_{\min}$  -Wert in Böden ohne strukturellen N-Überschuss läge, nämlich bei ca.  $25 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Dabei wird nur die (plausible) Annahme benötigt, dass N-Mineralisierung und Festlegung im Humus sich mittelfristig auf den N-Überschuss eingestellt haben und über die Jahre ausgleichen.

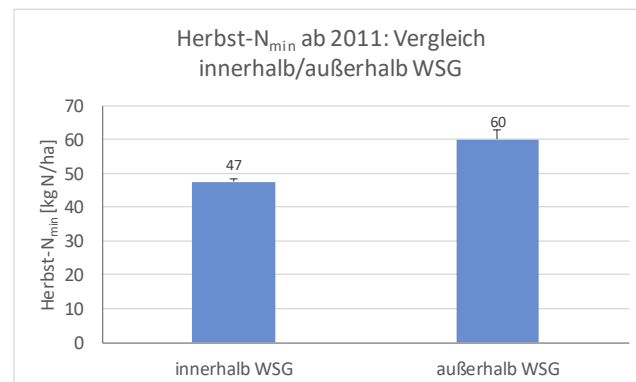
Aufgrund der maximalen Belastbarkeit (Critical Load) des Grundwassers ergibt sich dadurch ein langjähriger maximal tolerabler  $N_{\min}$  -Mittelwert von  $25 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  (Hintergrund) +  $15 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  (Critical Load) =  $40 \text{ kg N}_{\min} \cdot \text{ha}^{-1}$  in rein oder weit überwiegend landwirtschaftlich genutzten Brunneneinzugsgebieten ohne Denitrifikation (**Abb. 1**).

Verglichen mit dem Gesamtmittelwert aus der Flächenbewirtschaftungsdatenbank ( $n = 5040$ ) von  $52 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  ergibt sich ein ähnlich hoher weiterer Minderungsbedarf von rechnerisch  $12 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  für die Kooperation in den ungünstigsten Gebieten mit den am höchsten belasteten Brunnen.

Als Indikator für deutliche Denitrifikation konnten mittlere gelöste Eisen- ( $\text{Fe}^{2+}$ -) Konzentrationen von  $> 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  im Rohwasser des jeweiligen Brunnens identifiziert

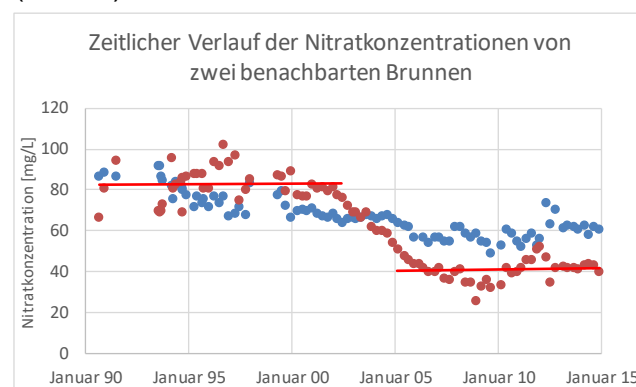
werden. Brunnen im Wald enthalten bereits um oder über  $25 \text{ mg Nitrat} \cdot \text{L}^{-1}$ , wenn keine Denitrifikation stattfindet.

In diesem Zusammenhang sollte beachtet werden, dass der Herbst-  $N_{\min}$  -Wert im Kooperationsgebiet im Vergleich zum Gebiet außerhalb der Wasserschutzgebiete bereits um  $13 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  im langjährigen Mittel niedriger liegt (**Abb. 2**).



**Abbildung 2:** Mittlerer Herbst-  $N_{\min}$  -Gehalt ab 2011 innerhalb der WSG (Kooperation) bzw. außerhalb der WSG (keine Kooperation);  $n=1936$ ; Fehlerbalken = Standardfehler.

Zwar bewegen sich die Nitrat-Konzentrationen in den meisten belasteten Brunnen seit einigen Jahren um  $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , aber an den Brunnen mit der einfachsten Hydrogeologie (Dietzenbach 07.04, 07.05) lässt sich auch die bisherige Wirkung zeigen (**Abb.3**) :

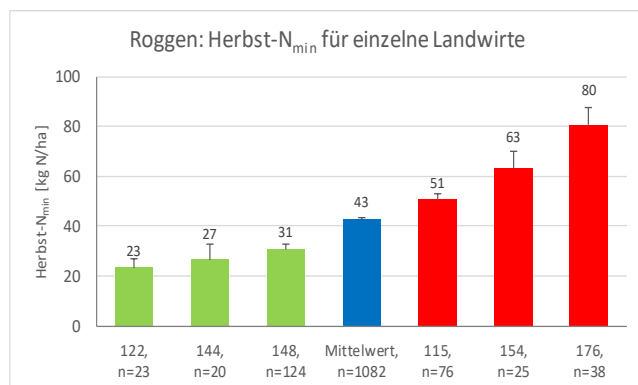


**Abbildung 3:** Rückgang der Nitratkonzentration in einzelnen Brunnen mit überwiegend landwirtschaftlich geprägtem Einzugsgebiet

Im Vergleich zum Beginn der Kooperation sind die Nitrat-Konzentrationen um ca. 25 bzw.  $40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  zurückgegangen. Dies entspricht einer Eintragsminderung von ca. 7 –  $12 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . Die bisher erreichte Min-

derung im landwirtschaftlichen Teil muss dabei deutlich höher sein ( $> 15 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ?), wenn man davon ausgeht, dass aus dem Waldanteil etwa konstante Zumischung erfolgt. Die genaue Reduktion ist hier schwer zu berechnen, weil sowohl die Altersstruktur des Wassers als auch das unterirdische Einzugsgebiet nicht bekannt und schwer ermittelbar sind. Neben den o.g. Massenbilanzgrößen wurden auch die landwirtschaftlichen Handlungsoptionen zur Verbesserung der Nitrat-Überschüsse eingehend untersucht und beurteilt.

Allein die Orientierung an den besten Betrieben und deren langjähriger Praxis (Best Practice) könnte das  $N_{\min}$ -Niveau bei Roggen von 43 (Mittelwert) auf ca.  $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  und bei Mais von 77 (Mittelwert) auf  $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  senken (**Abb. 4**). Gerade beim Mais fällt auf, dass hier einige Betriebe unrealistisch hohe Erträge erhoffen oder aus anderen Gründen auch im Wasserschutzgebiet strukturell überdüngen. Ähnliches gilt generell, wenn auch in geringerem Maße, für Weizen. Bei Winterraps ist die Aussage problematisch, weil kulturbedingt N-reiche Ernterückstände auf dem Feld verbleiben, aber auch hier gibt es große Unterschiede.



**Abbildung 4: Mittlerer Herbst-  $N_{\min}$  -Gehalt in den WSG für Roggen (ausgewählte Landwirte); Fehlerbalken = Standardfehler.**

Bei der Auswahl der Vorzeige-Betriebe und Praktiken sollte auch das Wirtschaftsergebnis mit beachtet werden, damit nicht Nischenbetriebe mit unrentabler Praxis als unglaubwürdiges Vorbild dienen. Dies war nicht Teil der Auswertung. Da es in der Regel aber immer mehrere Betriebe mit signifikant besseren Ergebnissen gibt, sollte es möglich sein, geeignet Betriebe zu finden.

Einen überraschend geringen Einfluss haben der Anteil und die Menge an organischen (Wirtschafts-) Düngern auf die Bilanzüberschüsse. Dies wird darauf zurückgeführt, dass im untersuchten Gebiet die Nährstoffgehalte der organischen Dünger zu 100 % in die Düngeberechnung einfließen, aufgeteilt in einen Teil, der im ersten Jahr wirksam ist und den Rest, der ab dem 2. Jahr als Nachmineralisation berücksichtigt wird. Dies kann als vorbildlicher Fortschritt gegenüber der gängigen Praxis angesehen werden, nur den aktuell verfügbaren Teil der Nährstoffe aus organischem Dünger zu berücksichtigen und damit grundwasserwirksame Überschüsse zu „verstecken“.

Bei gleichbleibender Praxis würde auch eine Verschiebung der Flächenanteile weg von Mais, Raps und Sonderkulturen hin zu mehr Wintergetreide (Weizen nur bei verminderter, standortangepasster Düngung) in den kritischsten Einzugsgebieten Fortschritte bringen, die letztlich aber bewirtschafterabhängig sind. Auch der den Landwirten vertraute Roggen wird teilweise mit erheblichen N-Überschüssen angebaut.

Darüber hinaus ist zu überlegen, wie es zu einem Ausgleich zwischen den Landwirten, die eher auf Ertragspotenzial düngen, und Wasserwirtschaft, die die realen, auch durch Missernten und Mindererträge geprägten N-Überschüsse im Grundwasser wiederfindet, kommen kann. Hier könnte ein Ansatz sein, auf mittlere Erträge zu düngen und in Spitzenjahren den entgangenen Mehrertrag auszugleichen. Zur Objektivierung könnten Vergleichsflächen geführt werden.

## Schlussfolgerungen / Fazit

Aus den verschiedenen, teils redundanten Massenbilanzansätzen kann geschlossen werden, dass mit den bisherigen Maßnahmen eine Senkung der N-Überschüsse um ca.  $13 - 15$  (?)  $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  erreicht wurde. In den kritischsten Gebieten wäre ein weiterer Schritt um nochmals  $15 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  Überschussminderung sowie ein Herbst- $N_{\min}$ -Zielwert von  $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  im langjährigen Mittel anzustreben. Damit könnte man an den höchstbelasteten Brunnen nachhaltig unter  $50 \text{ mg Nitrat} \cdot \text{L}^{-1}$  erreichen. Der ursprünglich angestrebte gute ökologische Zustand des Grundwassers von  $< 25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  Nitrat ist selbst im Wald unter den natur-

räumlichen Gegebenheiten nur teilweise oder mit Hilfe der Denitrifikation zu erreichen.

### **Ausblick**

Als Handlungsoptionen zur Entlastung der Brunnen bieten sich die Orientierung an der besten fachlichen Praxis von Betrieben im Gebiet, die Anpassung der Düngung an mittlere Ertragserwartungen oder eine Verschiebung der problematischeren Kulturen aus den kritischsten Gebieten an. Zumindest die beiden ersten Optionen sind bei guter Umsetzung ausreichend, um auch die kritischsten Brunnen deutlich und nachhaltig zu entlasten. Hier könnte ein Ansatz sein, auf mittlere Erträge zu düngen und in Spitzenjahren den entgangenen Mehrertrag auszugleichen. Zur Objektivierung könnten Vergleichsflächen mit höherer Düngung in weniger kritischen Bereichen geführt werden.